

POLITECNICO DI TORINO  
Repository ISTITUZIONALE

La selezione delle formazioni geologiche atte al deposito delle scorie radioattive

*Original*

La selezione delle formazioni geologiche atte al deposito delle scorie radioattive / Zucchetti, Stefano; Zucchetti, Massimo. - STAMPA. - 1:(1994), pp. 237-241. (Intervento presentato al convegno Giornata di Studio in ricordo del prof. Stefano Zucchetti, maggio 1994, Politecnico di Torino (Ita)., tenutosi a Torino, Italia nel 12 maggio 1994).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2642262 since: 2016-05-11T19:07:25Z

*Publisher:*

Tipografia Edicta, Torino

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

default\_conf\_editorial [DA NON USARE]

-

(Article begins on next page)

## LA SELEZIONE DELLE FORMAZIONI GEOLOGICHE ATTE AL DEPOSITO DELLE SCORIE RADIOATTIVE

*Stefano Zucchetti (\*), Massimo Zucchetti (\*)*

(\*) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia

### RIASSUNTO

*La Comunità Europea prevede lo smaltimento delle scorie radioattive mediante confinamento in depositi geologici. A seconda della pericolosità del rifiuto il seppellimento avverrà a profondità più o meno grandi, con un isolamento più o meno marcato e prolungato dalla biosfera. Un'indagine sulle caratteristiche necessarie ad un sito per la sua elezione a deposito di scorie radioattive indica come primaria la stabilità nel tempo dell'area, dal punto di vista idrogeologico (circolazione delle acque sotterranee) e geodinamico. I criteri di selezione delle formazioni geologiche adatte vengono analizzati in dettaglio: si basano sulle proprietà fisico-chimiche della roccia, sullo spessore, omogeneità, continuità e profondità della formazione, sulla struttura geologica. I tipi di formazione identificati come più affidabili sono principalmente tre: formazioni argillose, depositi salini e basamenti cristallini. All'interno di ognuno di questi tre tipi, vengono esaminate le formazioni geologiche nella Comunità Europea più idonee ad ospitare depositi di scorie. Per ognuna di esse vengono posti in evidenza alcuni particolari criteri di selezione. Viene esaminata la presenza e distribuzione in Italia di formazioni geologiche adatte ad un possibile smaltimento delle scorie radioattive.*

### SUMMARY

*European Community has planned the disposal of radioactive waste into geological repositories. The depth of the disposal and the degree of isolation from environment will depend on the type of waste. Hydrogeological and geodynamical stability of the area are the main requirements for a waste disposal site. Selection criteria for geological formations are examined in detail: they deal with the physical and chemical properties of the rock, the properties of formation, and the geological structure. Three formation types have been selected: clays, salt deposits and crystalline formations. For each type, geological formations in the European Community with adequate properties are examined, putting into evidence particular selection criteria. The presence and distribution of geological formations in Italy, appropriate for radioactive waste disposal, is investigated as well.*

### 1. INTRODUZIONE: POLITICA ENERGETICA ED IMPATTO AMBIENTALE

La domanda ed il consumo di energia nel mondo sono destinati a crescere in futuro con un ritmo assai sostenuto, a causa soprattutto della crescita di popolazione e dello sviluppo industriale degli stati del terzo mondo. L'economia e l'ottimizzazione nel consumo delle fonti energetiche nelle società già industrializzate, se pur doveroso anche da un punto di vista etico, non potrà comunque contrastare una inarrestabile tendenza al rialzo della domanda mondiale di energia, dovuta ad una giusta ed auspicabile crescita di quelle nazioni della terra il cui basso

consumo di energia è dovuto al sottosviluppo e alle scarsissime condizioni di vita della popolazione.

L'energia elettrica ha assunto ed assumerà in futuro un ruolo sempre più importante nel sistema energetico mondiale: la sua attuale quota di penetrazione (circa il 30%) è destinata a crescere in futuro. Costituisce un fatto, in particolare, la connessione fra crescita economica e modernizzazione, da un lato, ed un crescente consumo di energia elettrica, dall'altro.

Lo sviluppo di fonti energetiche destinate a fornire la parte più rilevante e costante della produzione di energia elettrica costituisce una

necessità prioritaria. In quest'ambito, appare evidente che il destinare a questo scopo combustibili fossili e limitati, quali carbone e petrolio, rappresenta un uso sconsigliato e suicida delle risorse planetarie. Al di là degli andamenti contingenti del mercato e di tendenze a breve termine, è innegabile che una corretta politica energetica deve affidare la produzione della quota-base di energia elettrica ad impianti centralizzati ed utilizzanti una fonte energetica tale da non intaccare patrimoni limitati, non rinnovabili ed indispensabili per altri scopi.

All'interno di questa situazione, una tendenza fondamentale da mettere in rilievo è la crescente importanza che l'impatto ambientale di una fonte energetica avrà nel determinare il suo successo, anche dal punto di vista commerciale.

L'insorgere negli anni più recenti di gravi problemi ambientali, quali in particolare l'effetto serra e le piogge acide, potranno portare all'adozione di politiche energetiche che scoraggino e penalizzino l'uso di combustibili fossili, quali petrolio e carbone.

In questo stesso ambito, rischi ambientali veri o presunti, nonché un livello di accettazione pubblica incredibilmente basso, hanno causato alla fissione nucleare una penetrazione sul mercato mondiale inferiore alle attese. Se poi consideriamo in particolare la situazione italiana, il rifiuto della fonte energetica nucleare è una realtà di oggi e non potrà non avere, come minimo, pesanti ripercussioni sulle possibilità del nucleare anche a medio e lungo termine.

Le difficoltà della fonte energetica nucleare sono essenzialmente dovute a due fattori:

- Percezione da parte del pubblico di un elevato rischio a causa di eventi incidentali gravi, con rilascio ingente di radioattività all'ambiente (incidente di Chernobyl).

- Percezione da parte del pubblico del ciclo del combustibile nucleare come fonte di inquinamento attuale e, ancor più gravemente, per le future generazioni, a causa della produzione e smaltimento di scorie radioattive a vita medio-lunga.

Date le sue caratteristiche, la fissione nucleare è chiaramente una fonte energetica adatta per la produzione di energia elettrica, e segnatamente del carico di base. Per questo scopo, anzi, lo scenario previsto per la metà del prossimo secolo vede in competizione tre fonti energetiche: il carbone, il nucleare da fissione e la fusione.

Una corretta politica energetica che includa l'utilizzo del nucleare deve considerare come primario il problema della gestione delle scorie radioattive prodotte dagli impianti nucleari. Condizione necessaria per una eventuale ripartenza del nucleare in Italia è la risoluzione preventiva di questo problema, in modo che il ciclo nucleare sia, in ogni suo componente (dalla miniera al deposito di scorie), accettabile dal punto di vista ambientale.

## 2. FATTORI GEOLOGICI CHE INFLUENZANO LA SCELTA DI UN SITO PER SCORIE RADIOATTIVE

La tendenza europea attuale prevede lo smaltimento delle scorie radioattive, sia quelle ad elevata concentrazione di attività, sia quelle a media e bassa attività, mediante confinamento in strutture geologiche. A seconda della pericolosità del rifiuto il seppellimento avverrà a profondità più o meno grandi, con un isolamento più o meno marcato e prolungato dalla biosfera.

E' possibile infatti localizzare nella crosta terrestre formazioni geologiche che per le loro proprietà e per il loro favorevole contesto geodinamico possono isolare le scorie per il tempo necessario al loro decadimento a livelli di sicurezza. Esso arriva fino a circa 50-100.000 anni per i radioisotopi a decadimento più lungo (attinidi ed alcuni prodotti di fissione).

La necessità di isolare per periodi anche molto lunghi la scoria radioattiva dalla biosfera determina la caratteristica principale per la scelta di un sito per il deposito delle scorie: la stabilità nel tempo dell'area, sia dal punto di vista idrogeologico (circolazione delle acque sotterranee) che da quello geodinamico.

La circolazione delle acque sotterranee è regolata dalle condizioni di superficie (rilievo, clima, ecc.) e dalla struttura geologica. Le rocce poco permeabili (sali, argille omogenee, rocce cristalline non fratturate) sono adatte, mentre quelle permeabili (ad es. ghiaie e sabbie), i calcari ed i gessi sono da scartare.

Considerando i movimenti della crosta terrestre, le regioni cratonizzate sono da preferire a quelle orogeniche, di norma ancora interessate da tettonica attiva. Strutture localizzate ad elevata stabilità, quali i domi salini (diapiri) risultano particolarmente adatte.

Sempre la necessità dell'isolamento della

scoria dalla biosfera richiede la presenza di barriere geologiche, sia idrodinamiche che geochemiche (adsorbimento di elementi chimici radioattivi rilasciati dalla scoria).

Inoltre, poiché le scorie radioattive sono caratterizzate dal rilascio di potenza termica dovuta alla loro radioattività (calore di decadimento), è importante una sua dispersione senza eccessivi incrementi di temperatura nella roccia ospite, la quale deve perciò presentare sufficienti caratteristiche di conducibilità termica.

Per sintetizzare, le formazioni geologiche di tipo e struttura appropriate devono possedere: permeabilità molto bassa, buona conducibilità termica, plasticità sufficiente per limitare i rischi di fratture, alta capacità di adsorbimento di ioni, bassa solubilità, proprietà geomeccaniche favorevoli alla costruzione ed al mantenimento di cavità ed, infine, stabilità di tutte queste proprietà al mutare delle condizioni (pressione, temperatura, presenza di radiazioni ionizzanti, sforzi meccanici). Le formazioni devono presentare volumi sufficienti di roccia a profondità adeguata, distribuzione sufficientemente omogenea delle proprietà delle rocce, bassa degradabilità, stabilità geodinamica nel lungo periodo.

Una classificazione dei criteri atti alla selezione delle formazioni adatte ad ospitare siti per scorie radioattive, può in conclusione dividerli in tre gruppi, relativi alle proprietà fisico-chimiche della roccia, alle proprietà geometriche della formazione, ed alla struttura geologica.

Il primo gruppo di criteri è già stato esposto precedentemente.

I caratteri geometrici delle formazioni, relativamente al loro volume, estensione e posizione, sono i seguenti. Lo spessore deve essere maggiore di 500 m per formazioni cristalline non completamente radicate, maggiore di 100 m per formazioni argillose, maggiore di 200 m per formazioni saline. La minima profondità del tetto della formazione deve essere di 200-300 m. L'estensione laterale, infine, è legata allo spessore: per domi saline, ad esempio, sono sufficienti pochi chilometri quadrati. Sono infine richieste l'omogeneità e la continuità della formazione.

Riassumendo i criteri relativi alla struttura geologica, ricordiamo il movimento delle acque sotterranee, che deve essere molto lento, l'alta

capacità di adsorbimento delle rocce di copertura, l'assenza di anomalie geotermiche positive, la bassa sismicità ( $i < IX$  grado della scala internazionale MSK del 1964).

Risultano infine tre ambienti geologici che possono possedere tali requisiti e che sono affidabili per la localizzazione di un sito: formazioni argillose, basamenti cristallini e depositi salini.

### 3. FORMAZIONI GEOLOGICHE NELLA COMUNITA' EUROPEA IDONEE AD OSPITARE SITI PER SCORIE RADIOATTIVE

Per ognuno dei tre ambienti geologici individuati nel paragrafo precedente, verrà ora svolta una breve analisi delle caratteristiche peculiari, in vista della selezione dei litotipi più adatti per la localizzazione in esse di un sito per lo smaltimento di scorie radioattive. La loro distribuzione geografica verrà poi analizzata nel paragrafo successivo.

#### 3.1 Formazioni argillose

Le formazioni argillose sono caratterizzate da bassi valori di permeabilità (barriera "idraulica") e dall'alta capacità di adsorbimento (barriera "geochemica" alla migrazione di nuclidi radioattivi).

Fra i vari litotipi distinguiamo:

- Le rocce argillose plastiche (argille, argille calcaree o marne), che presentano bassa permeabilità, alta capacità di scambio ionico. La conducibilità termica è bassa o moderata, e può essere perciò insufficiente per la dissipazione del calore di decadimento. Questo tipo di rocce è inoltre vulnerabile ai cambi chimico-fisici dovuti al calore ed alla radiazione ionizzante. D'altra parte la plasticità di queste formazioni impedisce lo stabilirsi di sistemi di fratture importanti.

- Le rocce argillose consolidate (mudstones, argilloscisti, argilliti, siltiti) o debolmente metamorfiche (scisti, filladi), che mostrano scistosità o fessurazione, consentendo perciò movimenti di acque. La conducibilità termica risulta superiore a quella delle argille plastiche.

- Le rocce detritiche eterogenee con cemento argilloso (grovacche), che hanno proprietà simili alle rocce argillose. Alcune formazioni possono essere molto spesse e pertanto possono essere considerate omogenee ed isotrope a larga scala,

con proprietà costanti in ogni direzione.

- Le rocce argillose interstratificate con altre rocce sedimentarie (arenarie, calcari, marne). Queste rocce che ricorrono in formazioni flyschiodi sono in generale poco permeabili, ma anisotrope.

### 3.2 Depositi salini

Importanti depositi salini sono presenti sia come strati salini che come domi di notevole volume, formati da corrugamenti degli strati stessi.

Il salgemma risulta avere le proprietà migliori: bassissima permeabilità, alta conducibilità termica, natura chimica inerte (anche ad alta temperatura), bassa densità e viscosità, stabilità meccanica, minimo contenuto d'acqua.

#### 3.3.1 Plutoniti intrusive nei basamenti cristallini.

Le plutoniti hanno bassa solubilità, suscettibilità relativamente bassa agli effetti termici, capacità di adsorbimento variabile (a seconda che siano inalterate o alterate). Sono isotrope e massicce, hanno alta resistenza meccanica e bassa permeabilità.

I litotipi più adatti risultano essere: graniti, dioriti, sieniti, gabbri e loro varietà.

#### 3.3.2 Metamorfiti nei basamenti cristallini.

Le loro caratteristiche dipendono dal protolito, dal grado di metamorfismo, e dalle trasformazioni post-metamorfiche.

Le caratteristiche generali indicano una resistenza meccanica relativamente alta, bassissima solubilità, bassa capacità adsorbente, bassa-media suscettibilità agli effetti termici.

I litotipi selezionati sono: gneiss, quarziti, serpentiniti e migmatiti.

## 4. DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA E STRUTTURALE DELLE FORMAZIONI GEOLOGICHE SCELTE E L'ESEMPIO DELLA GERMANIA

Le formazioni argillose adatte ricorrono specialmente in bacini sedimentari post-ercinici (e/o in graben), principalmente ternari o quaternari, oppure anche in bacini paleozoici. Rocce argillose a comportamento plastico si trovano in tutti i paesi della Comunità, ad

eccezione di Irlanda e Olanda. Rocce argillose consolidate adatte si trovano soltanto in alcuni paesi (Belgio, Regno Unito). Le grovacche sono state selezionate nel Regno Unito, i Flysch in Italia.

Le formazioni saline sono invece tipiche di bacini sedimentari post-ercinici. Meno frequenti delle formazioni argillose, sono talora alternate con queste. Sono infine presenti, come già accennato, in diapiri. Le formazioni stratiformi sono state considerate in Francia (Aquitania, Bresse, bassa valle del Rodano), Italia (Sicilia e Italia del Sud) e Regno Unito, mentre le formazioni in diapiri sono state selezionate in Germania, Danimarca, Olanda e Francia.

Le formazioni cristalline selezionate ricorrono tipicamente nei cratoni precambri (graniti e metamorfiti prevalentemente di medio od alto grado), o nei basamenti delle orogenesi Caledoniana ed Ercinica (gneiss, vulcaniti, graniti e rocce ultrabasiche). I cratoni precambri si trovano nel nord-ovest della Scozia, nelle Ebridi, nel sud dello Jutland e nell'isola di Bornholm (Danimarca). Il basamento Caledoniano si estende essenzialmente nel nord del Regno Unito ed in Irlanda, mentre quello Ercinico si trova in Germania, Francia, sud-ovest del Regno Unito e in Sardegna.

A titolo di esempio di selezione di formazioni geologiche per l'insediamento di siti per scorie radioattive citeremo il caso della Germania. La Germania ha pianificato la gestione delle sue scorie radioattive mediante due siti:

1) KONRAD, situato in una miniera di ferro dismessa. Questo deposito prevede il seppellimento profondo (800-1300 m) di scorie radioattive che generino calore di decadimento trascurabile (scorie a bassa-media attività). KONRAD può contenere un inventario radioattivo totale di circa  $10^{18}$  Bq di  $\beta$ - $\gamma$  emettitori e  $2 \cdot 10^{16}$  Bq di  $\alpha$  emettitori.

2) GORLEBEN, situato in un domo salino, per il deposito di tutti i tipi di scoria, anche quelli generanti elevato calore di decadimento (scorie ad alta attività). GORLEBEN potrà contenere un inventario radioattivo totale di circa  $10^{21}$  Bq di  $\beta$ - $\gamma$  emettitori e  $10^{19}$  Bq di  $\alpha$  emettitori.

Il costo di KONRAD si aggira attorno al miliardo di marchi tedeschi, quello di GORLEBEN (la cui operazione è prevista a partire dal 2000-2010) è circa 2.5 volte il precedente.

## 5. FORMAZIONI GEOLOGICHE IDONEE IN ITALIA

Sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti, le formazioni geologiche selezionate come possibile sito per un deposito di scorie radioattive sono:

- Formazioni argillose plastiche terziarie e quaternarie in 14 bacini: Po, Toscana (3), Umbria, Lazio, Garigliano, Volturno, Crotone, Marchigiano-Bradano, Crati, Sicilia (3); formazioni flyschoidi in molte regioni, principalmente in Molise, Cilento, Lucania.

- Depositi salini; depositi miocenici in Sicilia e nella parte Sud della Penisola.

- Basamenti cristallini; plutoniti della Sardegna.

## 6. CONCLUSIONI

Una corretta politica energetica che includa l'utilizzo del nucleare come fonte per la produzione di energia elettrica deve considerare come primario il problema della gestione delle scorie radioattive prodotte dagli impianti nucleari.

La Comunità Europea ha scelto di smaltire le scorie radioattive mediante seppellimento in strutture geologiche profonde.

La selezione delle formazioni geologiche più adatte ad ospitare un sito per scorie radioattive pone in evidenza come non manchino possibili siti in tutti i paesi europei, sia in formazioni argillose, sia saline, che cristalline, compresa l'Italia.

Seguendo l'esempio di altre Nazioni Europee (Germania, Svezia, Francia, Regno Unito), un nuovo Piano Energetico Nazionale che preveda il ricorso al nucleare deve includere un programma per la costruzione di siti per lo smaltimento delle scorie radioattive: il primo passo di questo programma è costituito dalla selezione delle formazioni geologiche adatte. Il breve riassunto fornito in questo lavoro pone in evidenza risultati incoraggianti.

## RINGRAZIAMENTI

Massimo Zucchetti desidera ringraziare gli amici Federico Mastrangelo e Riccardo Sandrone per l'aiuto e la rilettura critica del lavoro.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. COLOMBO U. et al. (1990) - Fusion Programme Evaluation. *Energia Nucleare*, 7, 7-52.
2. BRUNNER G. (ed.) (1980) - *Confinement Geologique des Dechets Radioactifs dans la Communauté Européenne*. C.E.C. Report EUR 6891 FR, Bruxelles, 27 pp.
3. MITTEMPPERGER M. (1980) - *A strategy for the disposal of radioactive wastes in Italy*. Proc. Int. Conf. on Underground Disposal of Radioact. Waste, IAEA, I, 105-114.
4. MALTONI GIACOMELLI G., CASALI F. (ed.) (1987) - *Atti del Convegno su Scorie Nucleari e Trasporto di Materiale Radioattivo*, EDITRICE COMPOSITORI, Bologna, 218 pp.